

堆载预压排水固结法加固软土地基的固结度分析

赵 辉^{1,2}, 李粮纲²

(1. 深圳市勘察测绘院有限公司, 广东 深圳 518028 ; 2. 中国地质大学(武汉) 工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要 结合深圳市某填海及软基处理工程实际, 分别采用三维固结理论和根据实测孔隙水压力值推算软基的固结度, 并加以对比分析, 证明其适用性。另外, 根据固结度计算公式反推软基的最终沉降量和预测沉降稳定时间, 这对于提出工程具体卸载时间具有重要指导意义。

关键词 堆载预压 排水固结法 软基 固结度 沉降

中图分类号: 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2005)03-0009-03

The Consolidation Degree Analysis Of Using Load Pre-pressure Drainage Consolidation Method to Consolidate Soft-soil Foundation/ZHAO Hui^{1,2}, LI Liang-gang² (1. Shenzhen Investigation & Survey Institute Co. Ltd, Shenzhen Guangdong 518028, China ; 2. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China)

Abstract: This paper calculates the consolidation degree by using the theory of three-dimensional consolidation and taking account of the monitoring test results of pore pressure dissipation. It is proved that they are practical by contrasting with each other. In addition, according to equation of calculating consolidation degree, it can calculate ultimate settlement and predict the time when settlement is stable by contrary. It has important leading purpose to put forward the time of unloading.

Key words: load pre-pressure ; drainage consolidation method ; soft-soil foundation ; consolidation degree ; settlement

在我国沿海和内陆地区广泛分布着海相沉积、湖相沉积和河相沉积的软弱粘土层。这种土的特点是天然含水量高, 压缩性大, 强度低, 透水性差, 具有触变性, 因此在这种地基上直接建造建筑物或进行填土时, 地基将由于固结和剪切变形而产生很大的沉降和差异沉降, 而且沉降过程延续时间很长, 影响建筑物的正常使用。另外, 其过低的强度往往不能满足工程设计所要求的地基承载力和稳定性。因此, 这种地基通常需要加固, 排水固结法就是处理软粘土地基的有效方法之一。本文利用三维固结理论结合深圳市某填海及软基处理工程计算地基固结度, 并推算地基的最终沉降量及沉降稳定时间, 这对实际工程具有现实的意义。

1 工程概况

1.1 工程地质条件

拟建场区地处后海湾东角头以东 1 ~ 2 km, 为浅海域, 海水深度为 0.44 ~ 4.73 m, 海底标高 - 0.09 ~ - 4.40 m, 平均高程 - 1.6 m (黄海基准)。海底地形为由西向东的一个缓坡, 坡度为 1.6‰ ~

4.5‰, 南北向基本平坦, 没有水流冲刷, 海底是一个微向东倾斜的平面。

由于深圳湾四面几乎为陆地包围, 形似内海(其西南角与珠江口伶仃洋相连, 是唯一的出口)。因此它很少受到海流和外海波浪的影响, 深圳河及大、小沙河等的泥砂淤泥在湾内以 1 ~ 3 mm/年的速率进行底沉积, 因此拟建口岸区的海底均为淤泥所覆盖, 厚度 7.0 ~ 19.2 m, 其物理力学性质较差, 淤泥下面为冲积砂砾土、粘土或花岗岩残积层。

1.2 软基处理方案

根据本工程的实际, 选取了“土工布 + 砂垫层 + 塑料排水板、填石(砂、土)堆载预压”地基处理方案。

(1) 垫层。由于淤泥极其软弱, 土工布选用强度较高的经编复合土工布, 砂垫层采用中粗砂, 厚度为 1 ~ 2 m ;

(2) 塑料排水板。塑料排水板在砂垫层顶面施工, 要求穿透淤泥层, 根据不同区域淤泥的具体情况, 塑料排水板采用不同的间距, 分别为 0.9 ~ 1.1 m ;

收稿日期 2004-09-28

作者简介 赵辉(1979-), 男(汉族), 湖北黄州人, 深圳市勘察测绘院有限公司, 地质工程专业, 硕士, 从事地基处理方面的设计与施工工作, 湖北省武汉市武昌鲁磨路中国地质大学(武汉)研究生院 200207 班, 13545224260, zh_cug@163.com 李粮纲(1961-), 男(汉族), 湖南湘潭人, 中国地质大学(武汉)教授, 地质工程专业, 博士, 从事非开挖铺管技术与地基基础方面的教学与科研工作。

(3) 地基填料。场区地基土填筑总厚度 6.0 ~ 9.0 m, 除砂垫层以上 1.0 m 范围内要求选用砂砾土外, 其余部分的填料可选用石料、砂、土。填料分级分层填筑, 每级厚 1.5 m, 分两层填筑。交工面以下地基填土的压实度标准(重夯击实): 深度 0 ~ 80 cm, $\geq 95\%$; 深度 80 ~ 150 cm, $\geq 93\%$; 深度 > 150 cm, $\geq 87\%$ 。填石的控制干密度 $\geq 2.0 \text{ t/m}^3$ 。

(4) 堆载预压时间。地基土每级填筑时间为 15 天, 其中堆载 7 天, 静压 8 天。预压荷载全部填完后的预压时间为 100 ~ 135 天。

(5) 卸载。预压满足设计要求后, 即可卸载, 卸载时要求将交工面以下 1.0 m 厚度的填料换填成砂砾粘土。

2 按沉降计算固结度

固结度的计算是砂井地基设计中的一个重要问题。通过固结度的计算, 可以推算地基的强度增长, 从而进行稳定性分析, 在这个基础上确定适应地基强度增长的加荷计划。若知道各级荷载下不同时间的固结度, 还可以推算各个时期的沉降量。在一定压力作用下, 砂井影响范围内的土中孔隙水向两个方向流出, 其一平行于井轴, 另一则沿井轴的辐射方向。所以, 砂井地基的固结是属三向固结的轴对称问题。

2.1 竖向平均固结度

根据一维固结理论, 在固结压力为均布的土层中, 某一时间竖向固结度的计算公式为:

$$U_z = 1 - (8/\pi^2) e^{-\pi^2 T_v/4} \quad (1)$$

$$T_v = C_v t / H^2 \quad (2)$$

式中: U_z —— 竖向平均固结度, %; T_v —— 竖向固结时间因数; C_v —— 竖向固结系数, cm^2/s ; t —— 固结时间, s; H —— 土层的竖向排水距离, cm, 双面排水时 H 为土层厚度的一半, 单面排水时 H 为土层的厚度。

2.2 辐射向平均固结度

在固结压力为均布的土层中, 某一时间辐射向固结度的计算公式为:

$$U_r = 1 - e^{-8T_h/F(n)} \quad (3)$$

$$T_h = C_h t / d_e^2 \quad (4)$$

$$F(n) = [n^2 / (n^2 - 1)] \ln(n) - (3n^2 - 1) / (4n^2) \quad (5)$$

式中: U_r —— 辐射向平均固结度, %; T_h —— 辐射向固结时间因数; C_h —— 辐射向固结系数, cm^2/s ; n —— 井径比, $n = d_e / d_w$; d_w —— 砂井直径, cm。

—— 固结时间, s; d_e —— 砂井的排水有效直径, cm;

n —— 井径比, $n = d_e / d_w$; d_w —— 砂井直径, cm。

2.3 总固结度

砂井地基总的平均固结度 U_{rz} 是由竖向排水和辐射向排水所引起的, 所以只要将上述计算的竖向平均固结度 U_z 和辐射向平均固结度 U_r , 代入下式即可:

$$U_{rz} = 1 - (1 - U_z)(1 - U_r) \quad (6)$$

即

$$U_{rz} = 1 - (8/\pi^2) e^{-\beta} \quad (7)$$

其中 $\beta = (8C_h) / [F(n) d_e^2] + (\pi^2 C_v) / (4H^2)$

以本软基处理工程某沉降板沉降数据为例计算固结度, 采用三点法计算参数 β , 计算公式为: $\beta = [1 / (t_2 - t_1)] \ln \{ (S_2 - S_1) / (S_3 - S_2) \}$ 。其中淤泥厚度 $H = 7.1 \text{ m}$, β 计算值为 0.0097, 则恒载后 210 天土层固结度为: $U_r = 93.62\%$, $U_z = 12.30\%$, $U_{rz} = 94.41\%$ 。

3 按孔隙水压力计算固结度

对于弹性土体, 反映孔隙水压力消散程度的固结度 U 等于变形比, 即:

$$U(t) = (u_0 - u_t) / u_0 \quad (8)$$

$$u_1 / u_2 = e^{-\beta(t_1 - t_2)} \quad (9)$$

则有 $\beta = [1 / (t_2 - t_1)] \ln(u_1 / u_2)$

式中: u_0 —— 初始孔隙水压力; u_t —— 整个压缩层 t 时刻的平均孔隙水压力。

通过实测超静孔隙水压力消散 - 时间曲线上任意两点就可以求出 β , 再代入 (7) 式就可以求出土层固结度。

取同一位置实测超静孔隙水压力消散 - 时间曲线上两点 (43.64, 75), (19.98, 137), 计算 $\beta = 0.0126$, 代入 (7) 式可得恒载后 210 天的软基的固结度为 $U_{rz} = 94.3\%$ 。由此可见, 根据实测的超静孔隙水压力求得的固结度与由沉降推算的固结度十分吻合, 只是小了 0.2%。

4 由固结度反推最终沉降量及沉降稳定时间

根据固结度定义, 从沉降曲线上某一点 (t_1, s_1) 算起有:

$$U(t) = (S_t - S_1) / (S_\infty - S_1) \quad (10)$$

那么, $S_\infty = S_1 + (S_t - S_1) / U(t)$

当 210 天的土层固结度 $U_{rz} = 94.41\%$ 时, 并根据实测沉降数据可求得 $S_\infty = 1971 \text{ mm}$ 。

由此可以根据给定的固结度反推得到沉降值,

表 1 为固结度反推沉降值与实际测量值的对比表。

表 1 推算沉降量与实测值对比表

固结时间 /d	固结度 /%	推算沉降量 /mm	实测值 /mm	误差 /%
30	66.8	1754	1569	11.80
60	75.4	1802	1710	5.36
90	81.7	1837	1805	1.75
120	86.4	1863	1890	-1.45
150	90.0	1883	1938	-2.86
180	92.5	1896	1969	-3.68

注 固结时间是指恒载后开始算起的时间

由表 1 可知,推算沉降量与实测值在开始固结的时候相差比较大,而随着固结时间的延长,推算值渐渐接近实测值。当固结时间为 120 天时,推算值较实测值大。由此说明实际沉降增长速度较理论计算要快。图 1 为沉降推算值与实测值比较曲线,由曲线可知,根据固结度推算的某一时刻的沉降值与实测值非常接近,说明这种推算途径是可行的。

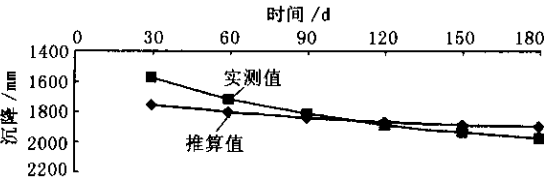


图 1 沉降推算值与实测值比较曲线

若已知达到稳定时的固结度还可以推算沉降达到稳定时的时间。当 $\beta = 0.0097$,稳定时的固结度

$U_{tz} = 98\%$ 时,则可以根据(7)式推算沉降达到稳定的时间是 381 天。

5 结论

- (1) 砂井地基的固结是属三向固结的轴对称问题,根据三维固结理论求解塑料排水板堆载预压法加固软土地基的固结度是可行的。
- (2) 计算固结度另外一种行之有效的方法是按照孔隙水压力来计算,其计算值较按沉降计算的固结度稍微偏小。若要保证按孔隙水压力推算的固结度的准确性,现场的排水应及时抽出。
- (3) 用固结度求解公式反推软基的沉降量与实测值非常接近,但用于推算的固结度要在一定的范围内,这样推算的沉降值与实测值更加接近。
- (4) 根据固结度求解公式还可以推算软基的最终沉降量,并且可以预测出沉降达到稳定时的时间,这也是一种沉降预测的有效手段。

参考文献:

[1] 钱家欢,殷宗泽. 土工原理与计算[M]. 北京:中国水利水电出版社,1996.
[2] 胡中雄. 土力学与环境土工学[M]. 上海:同济大学出版社,1997.
[3] 彭振斌. 地基处理工程设计计算与施工[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1997.

国土资源部系统探矿界 2005 年新春座谈会在京举行

本刊讯 由中国大陆科学钻探工程中心组织的“国土资源部系统探矿界 2005 年新春座谈会”2005 年 2 月 5 日在北京举行。探矿界耆宿,历届探矿司长、总工,中国地质调查局和科研、院校单位领导,探矿新老专家、教授共 40 多位嘉宾共聚一堂,欢庆新春。

室外隆冬严寒,室内春意盎然。

刘广志院士,李世忠、屠厚泽教授,王学龙副局长,王达主任,赵国隆、张志民、左汝强、张春波、吕政、汤凤林等 12 位司、院领导在主席上就座。

会议由中国大陆科学钻探工程中心王达主任兼现场总指挥主持。

首先由中国地质调查局王学龙副局长报告了 2004 年全国地质调查工作中的成就和进展,并诚挚祝贺各位嘉宾新春愉快,全家幸福!

王达主任介绍了 2005 年 1 月中国大陆科学钻探“科钻一井”深达 5118.2 m 胜利完成了全部钻井施工任务的喜讯和 4 年中应用高科技施工的奋斗历程。

赵国隆老司长介绍了全部采用金刚石取心工艺的“科钻一井”在施工中钻进工艺技术、纠偏和护孔堵漏等各个技术关键所采取的措施。

李世忠、屠厚泽两位教学前辈介绍了地质大学探矿、工程施工专业理论研究和教育发展的新成就。

刘广志院士深情激动地指出了“科钻一井”施工成就的重大意义和作用,并着重介绍了我国人造金刚石生产的惊人成就——年产量已达 4.5 亿克拉,在世界市场上技压群芳,名列前茅。

勘探所、探工所领导分别介绍了本所在 2004 年的科研成就、市场开拓蓬勃情景和大展鸿图的发展计划。中国地质大学(北京)刘志方副书记介绍了地质工程专业毕业生供不应求、在建设市场上发挥重大作用的喜讯。

生产、科研、教育各个方面的喜报和成就使得到会嘉宾十分欣慰,大家最振奋的是:(1)建国以来几代探矿人员的心愿和希望——由我国技术人员自己设计和施工的第一口科学深钻并胜利完钻,使中国探矿人员在世界深钻同行前扬眉吐气,同时,金刚石钻探理论在实践中有了新的发展;(2)我国 20~28 目人造金刚石产量不仅位列世界前茅,而且经美国通用公司检测完全合格,产品国外销路良好;(3)探矿和岩土钻掘工程在找矿和市政经济建设工作中作出了新的贡献,勘探所、探工所、工艺所三个科研所划归中国地质调查局领导后,局已决定投资兴建廊坊、良乡等科研开发基地,为勘探工程科学和技术的发展奠定了新的基础;(4)探矿、工程专业的毕业生在经济建设和资源勘探中受到全社会的广泛欢迎,事业前途光明灿烂。一年一度的迎春座谈会,如海纳百川,好消息纷至沓来,开得热情,开得欢乐,开出了对明天事业发展的信心和希望。(周国荣 供稿)